

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 199 62 681.2

Anmeldetag: 23. Dezember 1999

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft, München/DE;
Emitec Gesellschaft für Emissionstechnologie mbH,
Lohmar/DE

Bezeichnung: Brennstoffzellenanlage und Verfahren zum Betreiben
einer Brennstoffzellenanlage

IPC: H 01 M 8/00

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 24. Januar 2002
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag



Jerofsky

Beschreibung

Brennstoffzellenanlage und Verfahren zum Betreiben einer Brennstoffzellenanlage

5

Die Erfindung betrifft eine Brennstoffzellenanlage und ein Verfahren zum Betreiben einer Brennstoffzellenanlage mit einer dynamischen Leistungsregelung durch Zuschaltung von zu mindest einem betriebsbereit gehaltenem Teilsystem, mit einem Niedervolt-, Startersystem und/oder einer Bordstromversorgung.

10 Bekannt ist eine Brennstoffzellenanlage, die mehrere Brennstoffzellenstacks umfaßt, z.B. aus der EP 0 677 411 B1. Dabei wird eine Aufteilung des Brennstoffzellenmoduls in mehrere Stacks aus konstruktiven Gründen vorgeschlagen, weil entweder die Menge der benötigten Einzelzellen einen Stack einer stationären Brennstoffzellenanlage überfordert hätte oder die Gewichtsverteilung der Antriebseinheit im Fahrzeug eine Aufteilung in zwei Stacks erforderte.

15 Die bekannten Konstruktionen für Brennstoffzellenanlagen haben keine Möglichkeit für eine dynamische Leistungsanpassung, beispielsweise bei Überholvorgängen, weil sie nur eine kontinuierliche Leistungssteigerung über höheren Betriebsdruck, höhere Reaktionsgaskonzentration etc. vorsehen. Außerdem ist nachteilig an den bekannten Systemen mit Brennstoffzellenanlagen, daß keine Niedervoltaggregate, z.B. zum Sommerbetrieb, zur Nachtversorgung der stationären Brennstoffzellenanlage, 20 beim Start und/oder für die Bordstromversorgung im Stand und/oder im Betrieb in der Antriebseinheit vorhanden sind.

25 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, eine Brennstoffzellenanlage zu schaffen, die über eine dynamische Leistungsanpassung und/oder ein Niedervoltaggregat verfügt. Zudem ist es Aufgabe der Erfindung ein Verfahren zum Betreiben einer solchen Anlage zur Verfügung zu stellen.

Gegenstand der Erfindung ist eine Brennstoffzellenanlage, die zumindest zwei separat betreibbare Teilsysteme umfaßt.

5 Außerdem ist Gegenstand der Erfindung ein Verfahren zum Betrieb einer Brennstoffzellenanlage, bei dem zumindest zwei Teilsysteme separat betrieben werden.

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Anlage haben die
10 Teilsysteme getrennte Spannungsregelung und/oder Leistungselektronik.

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Anlage sind die
15 Teilsysteme elektrisch parallel geschaltet.

15 Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung umfaßt zumindest ein Teilsystem der Anlage zumindest eine Hochtemperatur-Polymer-Elektrolyt-Membran (HTM) -Brennstoffzelle und/oder eine Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM) -
20 Brennstoffzelle.

Als „Teilsystem“ wird ein Stapel oder Stack mit zumindest einer Brennstoffzelleneinheit bezeichnet. Mehrere Teilsysteme können sowohl in einem Gehäuse als auch in separaten Gehäusen untergebracht sein. Ein Beispiel für zwei Teilsysteme ist ein Stack von 70 Brennstoffzelleneinheiten, von denen einmal 30 Einheiten und einmal 40 Einheiten separat, also unabhängig aktiviert, betrieben, also angesteuert und geregelt werden können. Ein anderes Beispiel für zwei Teilsysteme sind zwei separate Stacks die unabhängig aktiviert und betrieben werden können. Dabei umfaßt die Unabhängigkeit der Teilsysteme sowohl die zeitliche als auch die betriebliche Komponente, das heißt, die Teilsysteme können zum einen nacheinander und zum zweiten nebeneinander mit unterschiedlicher Betriebsweise gefahren werden. Eine Kombination der beiden Varianten, wobei ein Teilsystem später gestartet und unter anderen Betriebsbedingungen gefahren wird, ist mitumfaßt.

Die Teilsysteme können gemäß der Erfindung gleich oder ungleich sein. Sie können insbesondere gleich oder ungleich sein in bezug auf Leistung, Größe, Material, Output und/oder

5 Art an Brennstoffzelle, wie z.B. herkömmliche Brennstoffzelle(einheitliches Potential auf der Grundplatte) und/oder Streifenzelle(unterschiedliche Potentiale auf der Grundplatte); PEM, HTM-Brennstoffzelle, PAFC(Phosphoric Acid Fuel Cell)-Brennstoffzelle, MCFC (Molten-Carbonate-Fuel-Cell),
10 DMFC (Direkt-Methanol-Fuel Cell) und/oder SOFC(Solide Oxide Fuel Cell)-Brennstoffzelle.

Wenn eine Parallelschaltung der Teilsysteme gewünscht wird und eine erhebliche Größendifferenz der Teilsysteme besteht,
15 ist die Verwendung von Streifenzellen, bei denen die elektrische Zellfläche verkleinert wird und unterschiedliche Potentiale in der Zellebene einer Brennstoffzelleneinheit bestehen, bevorzugt.

20 Mit separat betreibbar ist gemeint, daß die Teilsysteme unabhängig, also separat aktiviert und am Laufen gehalten werden können. Die Teilsysteme werden beispielsweise durch Kühlung, Prozeßgaszufuhr und/oder elektrisch aktiviert.

25 HTM-Brennstoffzellen sind aus der gleichnamigen Parallelanmeldung derselben Anmelder bekannt, auf die hiermit vollinhaltlich Bezug genommen wird.

Eine HTM- (Hochtemperatur-Polymer-Elektrolyt-Membran)-
30 Brennstoffzelle, auch HTM-Brennstoffzelleneinheit genannt, umfaßt folgende Bestandteile
- eine Membran und/oder Matrix,
- die einen eigendissoziierenden und/oder autoprotolytischen Elektrolyten chemisch und/oder physikalisch gebunden enthält
35 - zwei Elektroden, die sich auf gegenüberliegenden Seiten der Membran und/oder Matrix befinden

- angrenzend an mindestens eine Elektrode eine Reaktionskammer, die durch jeweils eine Polplatte und/oder eine entsprechende Randkonstruktion gegen die Umgebung abgeschlossen ist, wobei Vorrichtungen vorgesehen sind, durch die
5 Prozeßgas in die Reaktionskammer ein- und ausgebracht werden kann.,
- wobei die Konstruktionsteile der HTM-Brennstoffzelle so beschaffen sind, daß sie erniedrigten Druck bis zu ca. 0,3 bar und Temperaturen bis zu 300°C langfristig aushalten.

10

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird die Brennstoffzellenanlage kombiniert im kontinuierlichen und diskontinuierlichen Betrieb gefahren, d.h. innerhalb einer Betriebsphase ist für Leistungsspitzen zumindest ein weiteres
15 Teilsystem rasch zuschaltbar, so daß eine gute Leistungsdynamik für die Anwendung der Anlage in mobilen und stationären Systemen entsteht.

20

Zur Erleichterung des Kaltstarts ist nach einer Ausführungsform vorgesehen, daß zumindest ein kleines Teilsystem, z.B. ein Niedervoltsystem, im Dauerbetrieb gefahren wird, das entweder die Betriebstemperatur oder eine Temperatur über dem Kristallisationspunkt des Elektrolyten (z.B. über 40°C) hält und über das dann die restlichen Teilsysteme beim Start aufgeheizt werden. Bei der Ausgestaltung des Verfahrens, bei der
25 ein Teilsystem im Dauerbetrieb gefahren wird, wird dieses Teilsystem zumindest während der Ruhephase, wo es zur Erhaltung der Mindesttemperatur (z.B. für einen autothermen Startvorgang) dient, vorzugsweise mit maximaler thermischer Leistung betrieben.

30

Je nach Bedarf kann die Effizienz des Teilsystems in Richtung höhere Stromerzeugung oder höhere thermische Leistung über die Einstellung der Zellspannung geregelt werden. Die Regelung kann dabei auch über ein Steuergerät nach einem vorgegebenen Algorithmus unter Berücksichtigung einiger Meßdaten

und/oder der gewünschten Strom-, Heizleistung und/oder des Fahrerwunsches etc. erfolgen.

Bei einer Ausgestaltung des Verfahrens wird das „Startersystem“ 5 zwar nicht im Dauerbetrieb gefahren aber entweder wird beim Kaltstart zunächst nur dieses begrenzt kleine Teilsystem aufgeheizt, oder es wird über Isolation, Latentwärmespeicher und/oder Heizung eine Temperatur im Teilsystem erreicht, die über dem Kristallisationspunkt des Elektrolyten liegt, so daß 10 ein autothermes Aufheizen des Startersystems erfolgen kann.

Dabei ist es vorteilhaft, wenn eine Systemkombination PEM/HTM vorliegt, bei der das PEM-System das Startersystem ist, weil 15 das PEM-System bereits bei Temperaturen oberhalb von 0°C autotherm gestartet werden kann, wohingegen ein HTM-System mit einer Broenstedtsäure wie beispielsweise der Phosphorsäure als Elektrolyten erst oberhalb von 40°C autotherm gestartet werden kann. Es kann auch ein zusätzlicher Energiespeicher, wie eine Batterie, für den Standbetrieb vorgesehen sein.

20 Als „Startersystem“ wird das Teilsystem bezeichnet, das einen Teillastbetrieb ermöglicht, der beim Übergang zum nächst höheren Lastbetrieb (Zuschaltung weiterer Teilsysteme) und/oder beim Übergang zum Vollastbetrieb sowohl über die Abwärme als auch über elektrische Leistungsabgabe weitere Teilsysteme 25 aufheizt, die dann nachfolgend zugeschaltet werden können.

Unabhängig vom Startersystem ist nach einer vorteilhaften Ausgestaltung ein zusätzlicher Energiespeicher, wie beispielsweise eine Batterie, vorgesehen, der, z.B. bei der mobilen Anwendung, der Antriebseinheit die Energie für den Start und zumindest 3-5 Minuten Fahrzeit zur Verfügung stellt.

Zur Beheizung des Wohn- oder Fahrgastinnenraumes kann bei 35 spielsweise die Abwärme eines kleineren Teilsystems, wie die des Niedervolt- oder Startersystems dienen.

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Brennstoffzellenanlage und des Betriebsverfahrens ist eine modulare Medienaufbereitung vorgesehen, so daß die Peripherie der Anlage wie z.B. Brennstoffzellenstack, Reformer, Verdichter, Gebläse und
5 Ventilator jeweils im optimalen Wirkungsbereich gefahren werden können. Die Aggregate in der Stackperipherie können demnach in mehreren Modulen mit kleineren Einheiten vorliegen, so daß beispielsweise bei Teillastbetrieb eines Brennstoffzellenstacks ein Reformermodul bei Vollast betrieben wird,
10 wobei jeder der Apparate dann im optimalen Wirkungsbereich, d.h. unter optimaler Brennstoffausnutzung läuft.

Die durchschnittliche Größe eines HTM oder PEM Brennstoffzellenteilsystems in einer Brennstoffzellenanlage, die für die
15 Elektrotraktion eingesetzt wird umfaßt zum Beispiel 300 Brennstoffzelleneinheiten bei der Elektrotraktion.

Ein Startersystem oder ein System, das für die Niedervolt-Bordstromversorgung eingesetzt wird, umfaßt zum Beispiel 20 -
20 60 Brennstoffzelleneinheiten und hat eine maximale Leistung von ca. 1 bis 10 kW.

Während des Startens und/oder während der Ruhephase unter Erhaltung der Betriebstemperatur (Erhaltungslast) und/oder während einer Betriebsphase mit Niedriglast ist eine Reihenschaltung der Kühlung sinnvoll, so daß die Kühlung eines Teilssystems als Heizung eines anderen Teilsystems einsetzbar ist. Dabei ist es auch vorteilhaft, wenn bei Luftbetrieb mehrere Stacks in Reihe geschaltet werden, so daß die Abluft des
30 ersten Stacks zur Heizung des nächsten Stacks einsetzbar ist. Die Reihenschaltung der Stacks kann auch beim Ein-Stack-Betrieb des Mehrstacksystems vorteilhaft sein, weil die Wärme aus der Abluft des betriebenen Stacks zur Erhaltung der Betriebstemperatur des gerade in Ruhe befindlichen Stacks
35 dient.

Der Einbau eines Luftfilters für Kühl- und/oder Reaktionsluft ist vorteilhaft.

Nach einer Ausgestaltung der Anlage sind zumindest zwei Teil-
5 systeme aus HTM-Brennstoffzellen. Bei dieser Ausführungsform wird bevorzugt die Kühlung der beiden Teilsysteme in betriebswarmem Zustand parallel geschaltet, weil die beiden Teilsysteme dieselbe Betriebstemperatur haben.

10 Bei Teilsystemen ähnlicher oder gleicher Betriebstemperatur ist eine Parallelschaltung der Kühlung während des normalen Betriebs bevorzugt.

Bei Temperaturen kleiner 120°C ist in einem HTM-Teilsystem
15 mit Reformer bevorzugt eine Gasreinigung vorgesehen, um das Prozeßgas von CO zu befreien oder den CO-Gehalt des Restgases zu reduzieren.

Nach einer Ausgestaltung der Anlage umfaßt zumindest ein
20 Teilsystem zumindest eine HTM-Brennstoffzelle und ein Teilsystem zumindest eine Polymer-Elektrolyt-Membran(PEM)-Brennstoffzelle.

Bei dieser Ausgestaltung kann im betriebswarmen Zustand die
25 Kühlung der beiden Teilsysteme in Reihe geschaltet werden, weil das erwärmte Kühlmedium aus dem PEM-Brennstoffzellen-Teilsystem immer noch kühl genug ist um das Teilsystem mit HTM-Brennstoffzellen, die bei einer deutlich höheren Temperatur betrieben werden, zu kühlen.

30 Ebenso kann bei der Kombination von zumindest einem PEM-Brennstoffzellenteilsystem mit einem HTM-Brennstoffzellenteilsystem ein zweiteiliges Kühlsystem, das einen Niedertemperatur-Kühlkreislauf und einen Hochtemperatur-
35 Kühlkreislauf umfaßt, vorgesehen sein. Bei einem PEM-Brennstoffzellenteilsystem ist eine CO-Gasreinigung, bei-

spielsweise in Form einer wasserstoffdurchlässigen Sperrmembran, vorgesehen.

Diese Kombination eignet sich besonders für eine Anlage mit
5 Bordstromversorgung, wobei das PEM-Teilsystem bevorzugt für die Niedervolt-Bordstromversorgung eingesetzt wird.

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird die Brennstoffzellenanlage während der Ruhephase durch Erwärmen getrocknet, so daß z.B. im Kurzzeitbetrieb, wenn Ruhe- und/oder Belastungsphase kurz sind, die Stacktemperatur grundsätzlich über der Siedetemperatur des Wassers gehalten wird. Dies kann beispielsweise durch Einstellung einer Erhaltungslast während der Ruhephase erreicht werden.

15 Nach einer anderen Ausgestaltung des Verfahrens wird - entweder kombiniert mit dem Trocknen durch Erwärmung oder allein,- beim Abschalten der Anlage mit Prozeß- und/oder Inertgas zumindest ein Teilsystem und/oder ein Kühlsystem durch-
20 und/oder trockengeblasen, so daß beim Starten die Anlage möglichst wasserfrei und das Kühlsystem möglichst leer ist.

Eine laufende Überprüfung des Wassergehalts des austretenden Prozeß- und/oder Inertgases zeigt, wann die Zelle /der Stack trocken ist und das Gebläse ausgeschaltet werden kann.

25 Das während der Ruhephase extern gelagerte Kühlmedium kann während des Startens und/oder vor dem Starten extern, beispielsweise durch einen dafür vorgesehenen Stack der Anlage,
30 durch Abwärmennutzung und/oder durch einen Latentwärmespeicher aufgeheizt und als Wärmemedium in das Kühlsystem eines zu startenden Teilsystems eingelassen werden.

Das dafür erforderliche Gebläse wird beispielsweise mit Leistung aus dem und/oder einem anderen Teilsystem der Brennstoffzellenanlage und/oder über einen externen Energiespeicher, insbesondere einen elektrischen, versorgt.

Ein Teilsystem der Brennstoffzellenanlage kann zur Startstromversorgung vorgesehen sein, beispielsweise zur Versorgung der Aggregate wie Heizung zur Prozeßgasvorwärmung, Verdichter, Reformer, Gebläse etc.

Als Brennstoffzellenanlage wird das gesamte Brennstoffzellensystem bezeichnet, das zumindest zwei Teilsysteme, die entweder zwei separate Stacks bilden oder in einem Gehäuse integriert sind. Die Teilsysteme haben jeweils zumindest einer Brennstoffzelleneinheit, die entsprechenden Prozeßgaszuführungs- und -ableitungskanäle, die Endplatten, das Kühlssystem mit Kühlmedium und die gesamte Brennstoffzellenstack-Peripherie (Reformer, Verdichter, Gebläse, Heizung zur Prozeßgasvorwärmung, etc.).

Als Stack wird der Stapel aus zumindest einer Brennstoffzelleneinheit mit den dazugehörigen Leitungen und zumindest einem Teil des Kühlssystems bezeichnet.

Eine Brennstoffzelleneinheit umfaßt zumindest eine Membran und/oder Matrix mit einem chemisch und/oder physikalisch gebundenen Elektrolyten, zwei Elektroden, die sich auf gegenüberliegenden Seiten der Membran und/oder Matrix befinden, angrenzend an zumindest eine Elektrode eine Reaktionskammer, die durch jeweils eine Polplatte und/oder eine entsprechende Randkonstruktion gegen die Umgebung abgeschlossen ist, wobei Vorrichtungen vorgesehen sind, durch die Prozeßgas in die Reaktionskammer ein- und ausgebracht werden kann.

Die Brennstoffzellenanlage nach der Erfindung ermöglicht beispielsweise eine differenzierte und den jeweiligen Bedingungen dynamisch anpaßbare Leistungsabgabe der Anlage. Außerdem kann ein Teilsystem zur Zuschaltung nur bei Beschleunigungen vorgesehen sein, das während seiner Ruhephase über den Kühlkreislauf eines anderen Teilsystems, das im Betrieb ist, über einen Latentwärmespeicher oder eine sonstige Vorrichtung

(Heizung, Isolation, Erhaltungslast) immer auf Betriebstemperatur gehalten wird. Latentwärmespeicher zur schnelleren Aufwärmung des Kühlwassers beim KFZ sind bekannt. Als Speichermedien werden sog. „phase-change-materials“ wie Bariumhydroxid etc eingesetzt. Die Wärmeaufnahme oder -abgabe erfolgt dabei durch Schmelzen oder Rekristallisation der Materialien.

Eine weitere Möglichkeit, die durch das System erstmals eröffnet wird, ist, daß ein Teilsystem als „Niedervoltaggregat“ oder „Startersystem“ zum Sommer- oder Nachtbetrieb, zum Start und/oder für die Bordstromversorgung (Klimaanlage, Heizung, Radio etc.) als APU (Auxiliary Power Unit) ausgelegt ist.
Dieser Teilsystem kann dann mit geringer Nennleistung, beispielsweise 3 -10 kW (entspricht ca. 5 bis 20% der Nennleistung des Gesamtsystems) betrieben werden.

Patentansprüche

1. Brennstoffzellenanlage, die zumindest zwei separat betreibbare Teilsysteme umfaßt.
- 5 2. Brennstoffzellenanlage nach Anspruch 1, wobei die Teilsysteme ungleich sind.
- 10 3. Brennstoffzellenanlage nach einem der Ansprüche 1 oder 2, bei der die Teilsysteme getrennte Spannungsregelung und/oder Leistungselektronik haben.
- 15 4. Brennstoffzellenanlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei der die Teilsysteme elektrisch parallel geschaltet sind.
- 20 5. Brennstoffzellenanlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei der zumindest ein Teilsystem der Anlage zumindest eine Hochtemperatur-Polymer-Elektrolyt-Membran (HTM) - Brennstoffzelleneinheit und/oder eine Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM) - Brennstoffzelleneinheit umfaßt.
- 25 6. Brennstoffzellenanlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, die zumindest ein Startersystem und/oder ein Niedervoltaggregat umfaßt.
7. Brennstoffzellenanlage nach Anspruch 6, bei der das Startersystem zumindest eine PEM-Brennstoffzelleneinheit umfaßt.
- 30 8. Brennstoffzellenanlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, die zumindest zwei Teilsysteme mit zwei parallel geschalteten Kühlkreisläufen umfaßt.
- 35 9. Brennstoffzellenanlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei der ein zusätzlicher Energiespeicher, wie beispielsweise eine Batterie, vorgesehen ist.

10. Verfahren zum Betreiben einer Brennstoffzellenanlage, bei dem zumindest zwei Teilsysteme separat aktiviert und/oder betrieben werden.
- 5 11. Verfahren nach Anspruch 10, das kombiniert im kontinuierlichen und diskontinuierlichen Betrieb gefahren wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 11, bei dem zu Beginn des Kaltstarts der Brennstoffzellenanlage zumindest 10 ein Startersystem gestartet wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, mit einer modularen Medienaufbereitung, die eine optimale Brenngasausnutzung gewährleistet.
- 15 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, bei dem während der Ruhephase zumindest ein Niedrigvolt-Teilsystem unter Erhaltungslast betrieben wird.
- 20 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, bei dem während des Startens und/oder während der Ruhephase unter Erhaltungslast und/oder während einer Betriebsphase mit Niedriglast die Kühlung der Stacks in Reihe geschaltet werden.
- 25 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 15, bei dem die Brennstoffzellenanlage während der Ruhephase durch Erwärmen und/oder durch Trockenblasen getrocknet wird.

Zusammenfassung

Brennstoffzellenanlage und Verfahren zum Betreiben einer
Brennstoffzellenanlage

5

Die Erfindung betrifft eine Brennstoffzellenanlage und ein
Verfahren zum Betreiben einer Brennstoffzellenanlage mit ei-
ner dynamischen Leistungsregelung durch Zuschaltung von zu-
mindest einem betriebsbereit gehaltenem Teilsystem, einem
10 Niedervoltaggregat für Nachtbetrieb und/oder mit einer Bord-
stromversorgung.